

# Systemdynamische Betrachtungen zur Sturzdynamik und -prophylaxe

## Entwicklung eines deterministischen Modells

### Hintergrund und Fragestellung

Aufgrund der derzeitigen hohen Lebenserwartung, der heutigen Altersstruktur der Bevölkerung, durch den Babyboom und die Einwanderungen der 1960er Jahre wird sich die Zahl der 80-Jährigen und Älteren vom Jahr 2004 von 4% der Gesamtbevölkerung auf 12% im Jahre 2050 erhöhen [12]. Die Mehrheit der heutigen ≥80-Jährigen wird in der „Swiss interdisciplinary longitudinal study on the oldest-old“ als gebrechlich eingestuft [8]. Ein Teil dieser gebrechlichen Population ist der Sturzgefahr ausgesetzt, denn Stürze gehören bekanntlich zu den häufigsten Unfallursachen bei Senioren ≥65 Jahren. Mehr als ein Drittel der Männer und die Hälfte der Frauen erleiden dabei mindestens eine Fraktur, am häufigsten eine Schenkelhalsfraktur. Elf Prozent der Männer und 5% der Frauen sterben an den Sturzfolgen [2].

Drei Monate nach einer Schenkelhalsfraktur erlangen nur 42% wieder ihre vorherige Mobilität und nach einem Jahr sind es 49% der überlebenden Personen. Ein Drittel der Verunfallten ist nach einem Jahr immer noch bettlägerig

oder auf den Rollstuhl angewiesen. Von den ursprünglich zuhause lebenden Patienten muss fast ein Fünftel innerhalb von einem Jahr in ein Alters- und Pflegeheim eintreten, da sie auf Hilfe Dritter angewiesen sind [9], was für die Volkswirtschaft immense Kosten verursacht. Hubacher u. Ewert [10] bezifferten die jährlichen frakturbedingten Krankenhauskosten in der Schweiz auf 150–200 Mio. Franken. In Deutschland erleidet etwa jeder 25. Pflegeheimbewohner einmal jährlich eine Hüftfraktur [1]. Somit gehört das Sturzproblem zu einer großen Public-Health-Herausforderung unserer Zeit.

Angesichts dieser Problematik sind Instrumente zur Sturzvorschau erforderlich. Doch bislang vermag keines der verfügbaren Assessmentinstrumente die wirklich sturzgefährdeten Personen prospektiv zu identifizieren, was mit der niedrigen Sturzprävalenz zusammenhängt. Ganz allgemein haben solche Instrumente eine zu geringe Sensitivität und Spezifität: Es werden entweder ungefährdete Personen als sturzgefährdet identifiziert (zu niedrige Sensitivität, z. B. beim Tinetti-Mobility-Score mit 70% Sensitivität) oder – umgekehrt – zu viele sturzgefährdete

Menschen werden fälschlicherweise als nicht sturzgefährdet eingestuft (beim Fall-Präventions-Programm von Schmid liegt beispielsweise die Spezifität bei 66% [20]). Auch die positive prädikative Validität der Morse-Fall-Scale mit 23,2% [21] und des STRATIFY („St. Thomas's risk assessment tool in falling elderly inpatients“) mit 18% [16] bleibt bescheiden.

Auf diesem Hintergrund sind zuverlässige Methoden und Instrumente zur Einschätzung und Erkennung von Sturzgefährdeten gefordert, denn nur wenn ein Sturzrisiko bekannt ist, können prophylaktische Maßnahmen gezielt und damit kosteneffektiv eingesetzt werden. Perell et al. [19] unterscheiden dabei das medizinische, das pflegerische und das funktionelle Assessment. Ein medizinisches Assessment ist in der Regel sehr aufwändig und führt zu keinem weiterführenden Sturzrisikoindex. Das pflegerische Sturzrisikoassessment ermittelt aufgrund interner Risikofaktoreneinschätzung das Sturzrisiko, wobei diese Erhebungen in der Regel kurz und ohne großen Geräteaufwand (z. B. die Morse-Fall-Scale oder das STRATIFY) durchgeführt werden können. Das funktionelle Mobilitätsassessment testet

Merkmale zur Mobilität und Balance oft in Form von einer Leistungsbewertung einer Übung (z. B. „Timed-up & go-Test, Berg-balance-Scale“; [15]).

Erschwerend kommt hinzu, dass manche Sturzrisikofaktoren auf einer relativ hohen Ebene aggregiert werden. In der Morse-Fall-Scale beispielsweise wird der Faktor „i. v.-Zugang“ sehr hoch (mit 25 Punkten) gewichtet. Konzeptuell lässt sich dieser Faktor in mindestens 3 Punkte differenzieren: Wer einen i. v.-Zugang hat, leidet aller Wahrscheinlichkeit nach unter einer Krankheit; Patienten mit einem i. v.-Zugang erhalten ferner in der Regel Medikamente; mobile Personen mit i. v.-Zugang sind wegen der Hantierung am Infusionsständer möglicherweise einer zusätzlichen Sturzgefährdung ausgesetzt.

Auf diesem Hintergrund wurde die folgende Fragestellung entwickelt: Lässt sich ein für eine Pflegeheimpopulation deterministisches systemdynamisches Modell der Sturzdynamik und -prophylaxe unter Einbeziehung bekannter Sturzrisikofaktoren entwickeln, das von Praktikern als plausibel beurteilt wird, und das sich in einer Simulation realistisch verhält?

Wir gingen dabei von folgenden Zielen aus:

- Das Modell berücksichtigt von der Forschungsliteratur anerkannte Sturzrisikofaktoren.
- Das Modell wird von Fachpersonen aus der geriatrischen Praxis als plausibel beurteilt.
- Das Modell verhält sich in der Simulation möglichst realitätsgetreu.

## Methoden

### Literaturübersicht

Aus der Literatur ist eine Großzahl von Risikofaktoren für Stürze bekannt, die oft intrinsische und extrinsische Faktoren unterteilt werden[1]. Zur Darstellung der Risikofaktoren bei älteren Menschen lehnen wir uns – wenn nicht anders vermerkt – an die Übersicht von Moreland et al. [17], die Risikofaktoren aus Longitudinalstudien bei älteren Menschen mit einem Follow-up von >80% zusammengetragen haben.

### Intrinsische Faktoren

Zu den Bewegungsbeeinträchtigungen gehören die Basismobilität im Alltag, als eines vom Patienten selbst wahrgenommenes Mobilitätsproblem [relatives Risiko (RR)=5,3], Probleme in den Aktivitäten des täglichen Lebens [Odds-Ratio (OR)=4,3], Gangschwierigkeiten, wie Verkürzung der Schrittlänge (RR=4,4) oder Gehgeschwindigkeit <0,5 m/s (OR=3,8) [17]. Als weitere intrinsische Faktoren gelten Gleichgewichtsstörungen, etwa beim Aufstehen vom Stuhl (RR=3,7;  $p<0,005$ ), beim Stehen direkt nach dem Aufstehen (RR=3,7), Unsicherheit beim Drehen (RR=4,0–5,0) oder Schwindel (OR=1,7–2,3) [17]. Zu den Beeinträchtigungen der Kraft zählen die herabgesetzte Kraft in den unteren Extremitäten (RR=5,4) oder die durch Pflegekräfte subjektiv eingeschätzte Schwäche (OR=3,7).

Auch psychische Faktoren können einen Einfluss auf das Sturzrisiko ausüben. In der Literatur sind die Folgenden zu finden: mentaler Status, wie etwa Desorientierung (OR=5,2–8,6), Mini-Mental-Status-Test <25 (OR=3,2), Depression (OR=2,2), Furcht vor einem Sturz (RR=1,2), eigener als schlecht eingeschätzter Gesundheitszustand (RR=2,8) oder ein Gefühl der Einsamkeit (RR=1,2 [17]). Schließlich zählen die folgenden somatischen Krankheiten, Störungen oder Beeinträchtigungen zu den intrinsischen Risikofaktoren: Schlaganfall (OR=3,4 [17]) oder ein Schlaganfall in der Vorgeschichte (OR=13,6 [3]), Diabetes (OR=3,7), Urininkontinenz (OR=0,9–2,8 [17]), Parkinsonerkrankung (OR=7,7 [18]), orthostatische oder postprandiale Hypotension (OR=2,0), Sehprobleme (OR=1,2–1,7) und beeinträchtigtes Hören (OR=2,7 [17]).

### Extrinsische Faktoren

Mechanische Fixierungsmittel (OR=10,2) oder der Gebrauch von Gehhilfen (OR=1,4) sind gewissermaßen externe mechanische Risikofaktoren. Sehr gut erforscht sind Medikamente als Sturzrisikofaktoren. Aus der Metaanalyse von Leipzig et al [13] geht hervor, dass 11 von 20 Originalstudien über die Gruppe der psychotropen Substanzen (Antidepressiva, Neuroleptika, Sedativa und Hypnotika) signifikant zum Sturz beitragen können. Die gepoolten OR für die einzelnen Medika-

mente, die in einem Zusammenhang mit einer erhöhten Sturzgefahr stehen, betragen für Neuroleptika 1,5, für Antidepressiva 1,51 und für Benzodiazepine 1,32 [13].

In einer weiteren Metaanalyse von Leipzig et al. [14] wurden 14 Herz- und Schmerzmittel mit Blick auf ihren Beitrag zur Entstehung einer erhöhten Sturzwahrscheinlichkeit untersucht. Einzig bei Diuretika (OR=1,08), Digoxin (OR=1,22) und Antiarrhythmika des Typus 1A (OR=1,59) fand die Forschergruppe einen statistisch signifikanten Zusammenhang. In der Übersichtsarbeit von Moreland [17] wurde ein Zusammenhang zwischen Sturz und zentralwirksamen Antihypertensiva (OR=1,2) gefunden. Ferner wurden das Lebensalter (OR=1,2) und ein Sturz in der Vergangenheit (OR=1,7–3,5) als Risikofaktoren ermittelt.

### Modellentwicklung

Ausgehend von den bisher bekannten intrinsischen und extrinsischen Sturzrisikofaktoren und den Merkmalen der Pflegeheimpopulation (z. B. Multimorbidität, demenzielle Erkrankungen, Einnahme mehrerer Medikamente) wurde ein deterministisches Modell der Sturzentstehung entwickelt. Dabei wurden in allen Schritten der Modellentwicklung zwei Praxisexperten eines speziellen Fachkrankenhauses für geriatrische Patienten mit einer pflegeheimähnlichen Klientel (ein Professor in der Geriatrie und eine Pflegeexpertin einer geriatrischen Klinik) miteinbezogen.

Bei der systemdynamischen Modellierung haben wir bekannte Abhängigkeiten in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen quantitativ als Grundlage für Sturzprognosen abgebildet. Das Modell wurde im Simulationsprogramm VENSIM (PLE plus Version 5.4C, Ventana Systems Inc.) umgesetzt. Diese Software wird von Analysten, Beratern und Forschern für Simulationsmodelle in Wirtschaft, Wissenschaft, Umwelt und sozialen Systemen eingesetzt, um komplexe Zusammenhänge systemdynamisch abzubilden. Für die Quantifizierung des Modells wurden quantitative Forschungsergebnisse oder in Ermangelung quantitativer Daten, Abschätzungen aufgrund klinischer Erfahrungen herangezogen. Zum

Schluss wurde das Modell in Simulationen auf seine Plausibilität hin überprüft.

## Ergebnisse

Aus der oben angeführten Literaturübersicht ist ersichtlich, dass bereits viele Sturzrisikofaktoren bekannt sind. Aus den Studien gehen jedoch kaum Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Risikofaktoren hervor und vermögen deshalb das komplexe multifaktorielle Geschehen bei der Sturzentstehung nicht abzubilden. Es scheint, dass die meisten vorliegenden Studien zur Sturzthematik mit sog. „Blackbox-Modellen“ arbeiten, bei denen zwar Korrelationen zwischen beobachteten Inputfaktoren (z. B. Alter) und der relevanten Zielgröße „Sturzwahrscheinlichkeit“ ermittelt werden, ohne jedoch die Wirkungszusammenhänge im Detail zu untersuchen. Es erscheint aufgrund der Komplexität der Thematik deshalb angebracht, ein quantitatives deterministisches Modell der Sturzentstehung und -prophylaxe zu entwickeln. Das Modell soll dabei die Kumulation vieler Sturzrisikofaktoren und deren Wechselwirkungen untereinander und systemdynamische Prozesse wie Verzögerung und Rückkoppelung berücksichtigen.

## Darlegung der Modellentwicklung

### Sturzdynamik

Der Kern des Modells basiert grundsätzlich auf der Überlegung, welche Voraussetzungen bestehen müssen, damit es zum Sturz kommt. Es wurde festgehalten, dass es nur dann zum Sturz kommt, wenn der Patient sich bewegt respektiv es versucht. Dieser Faktor wurde abstrakt als „Mobilität im Alltag“ bezeichnet.

Eine zweite Voraussetzung für einen Sturz ist, dass der Patient sturzgefährdet ist. Diese Gefährdung liegt vor, wenn die räumliche Situation des Patienten Anforderungen an ihn stellt, die seine aktuellen Fähigkeiten übersteigen. Sturzgefahr beruht also auf einem Ungleichgewicht zwischen den Anforderungen an die Gehfähigkeit und der bestehenden Gehfähigkeit (▣ Abb. 1).

Während die Anforderungen über extrinsische Sturfaktoren wie Schuhwerk oder Bodenbeschaffenheit von außen be-

## Zusammenfassung · Abstract

Präv Gesundheitsf 2009 · 4:15–22 DOI 10.1007/s11553-008-0145-x  
© Springer Medizin Verlag 2008

A. Zeller · I. Needham · E. Betschon · K. Hügel · G. Bischofberger · C. Hürni  
**Systemdynamische Betrachtungen zur Sturzdynamik und -prophylaxe. Entwicklung eines deterministischen Modells**

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Stürze älterer Personen ist derzeit eine große Public-Health-Herausforderung. Da Instrumente zur Erkennung sturzgefährdeter Personen wenig genaue Vorhersagen machen, wurde ein deterministisches systemdynamisches Modell der Sturzdynamik entwickelt.

**Methoden.** Unter Verwendung bekannter Sturzrisikofaktoren, quantitativer Forschungsergebnisse und Abschätzungen, Ursachen- und Wirkbeziehungen wurde ein deterministisches Modell simuliert.

**Ergebnisse.** Grundvoraussetzungen für Stürze sind Bewegung oder Bewegungsabsichten („Mobilität im Alltag“), ein Sturzrisiko und ein Ungleichgewicht zwischen Gehanforderungen und Gehfähigkeit. Kraft, Koordination und Gleichgewicht wurden als Speichergrößen definiert und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge ins Modell integriert. Zahlreiche

andere bekannte Sturzrisikofaktoren wurden ins Modell aufgenommen und quantifiziert. Die Simulation einer Fixierung zeigte, dass die Sturzwahrscheinlichkeit unmittelbar nach der Fixierung erhöht ist. Das Modell zeigt in der Simulation systemdynamische Aspekte wie Verzögerung, Rückkoppelung und Nicht-Linearität.

**Schlussfolgerung.** Mit Hilfe der Systemdynamik konnte ein deterministisches systemdynamisches Modell der Sturzdynamik und -prophylaxe für eine Pflegeheimpopulation unter Einbeziehung bekannter Sturzrisikofaktoren entwickelt werden, das von Praktikern als plausibel beurteilt wird und das „richtungssicher“ reagiert.

### Schlüsselwörter

Sturz · Pflegeheimbewohner · Systemdynamik · Simulation

## Considerations from system dynamics on the dynamics and prevention of falls. Development of a deterministic model

### Abstract

**Background.** The problem of falls in older persons is currently a major public health challenge. A deterministic system-dynamics model was developed because fall prediction instruments yield poor forecasts.

**Methods.** A deterministic model was developed and simulated using well-known fall risk factors, quantitative research results and estimations, and cause-and-effect relationships.

**Results.** The preconditions for a fall are movement or intention to move (termed “mobility in everyday life”), a risk for falling, and an imbalance between the requirements for movement and the capacity to move. Strength, coordination, and balance were defined as stocks, and cause-effect relationships were integrated into the model. Nu-

merous well-known risk factors for falls were entered into the model and quantified. The simulation of immobilisation demonstrated that the probability for a fall was elevated after immobilisation. On simulation, the model displayed system-dynamic aspects such as time delays, feedback, and nonlinearity.

**Conclusion.** Using system dynamics and taking well-known factors for falling into consideration, it was possible to develop a deterministic model of fall dynamics and fall prevention that was deemed plausible by practitioners.

### Keywords

Falls · Nursing home residents · System dynamics · Simulation

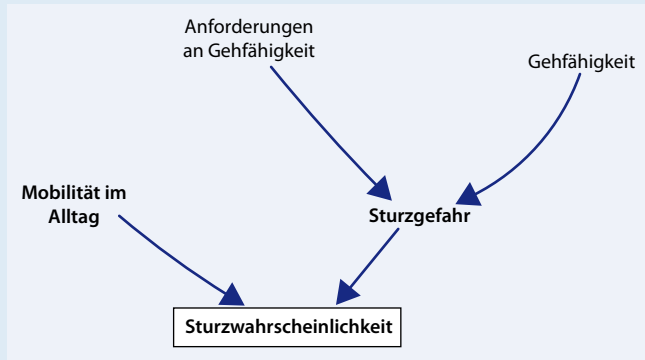


Abb. 1 ▲ Grundmechanismus der Sturzdynamik

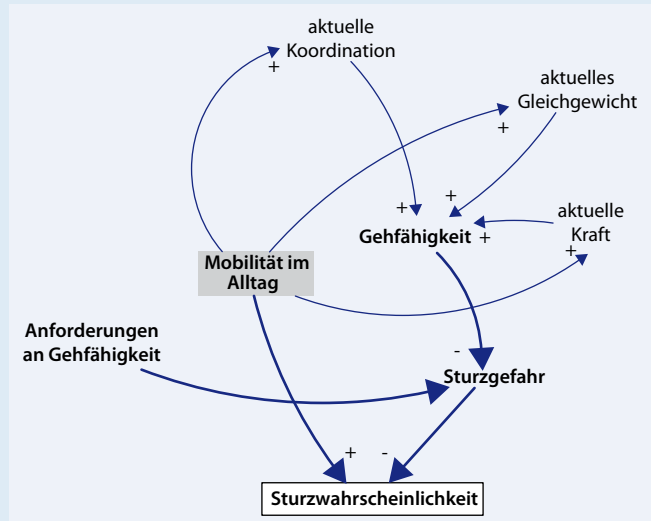


Abb. 2 ► Zusammensetzung Gehfähigkeit und Rückkopplung über Mobilität im Alltag

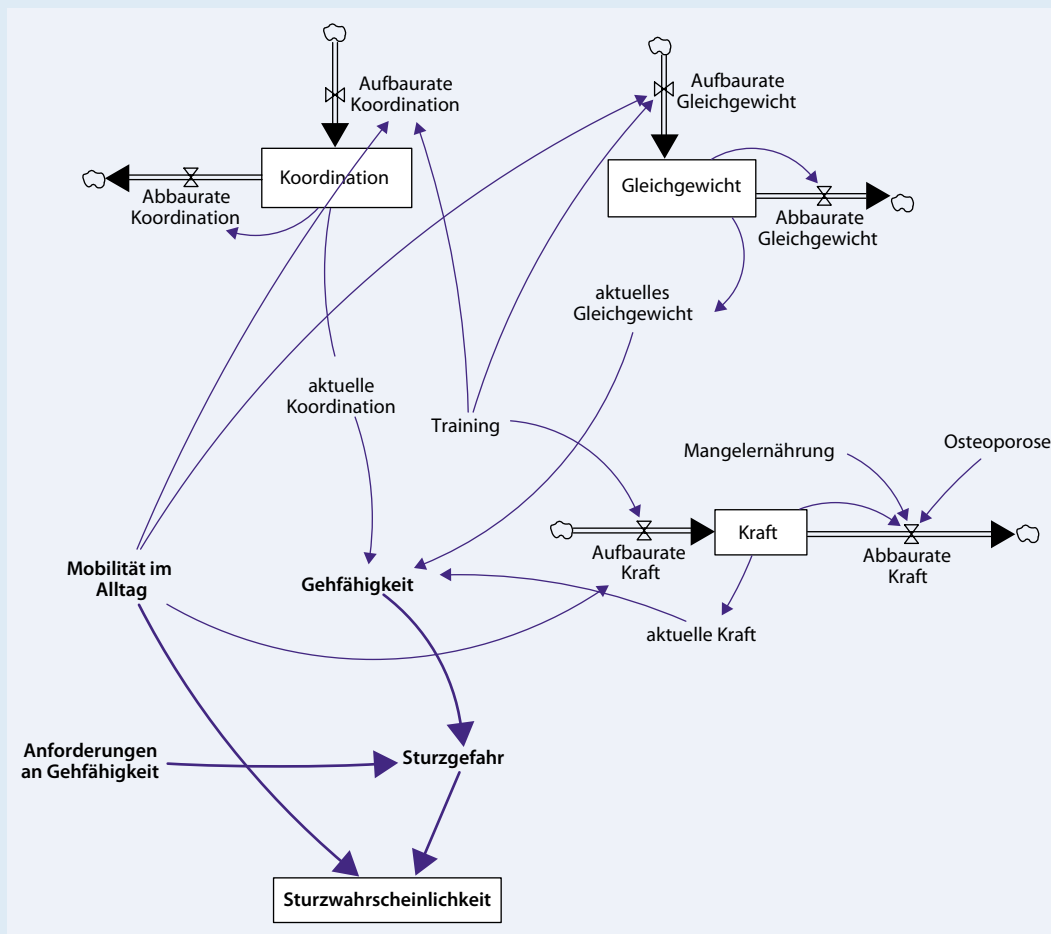


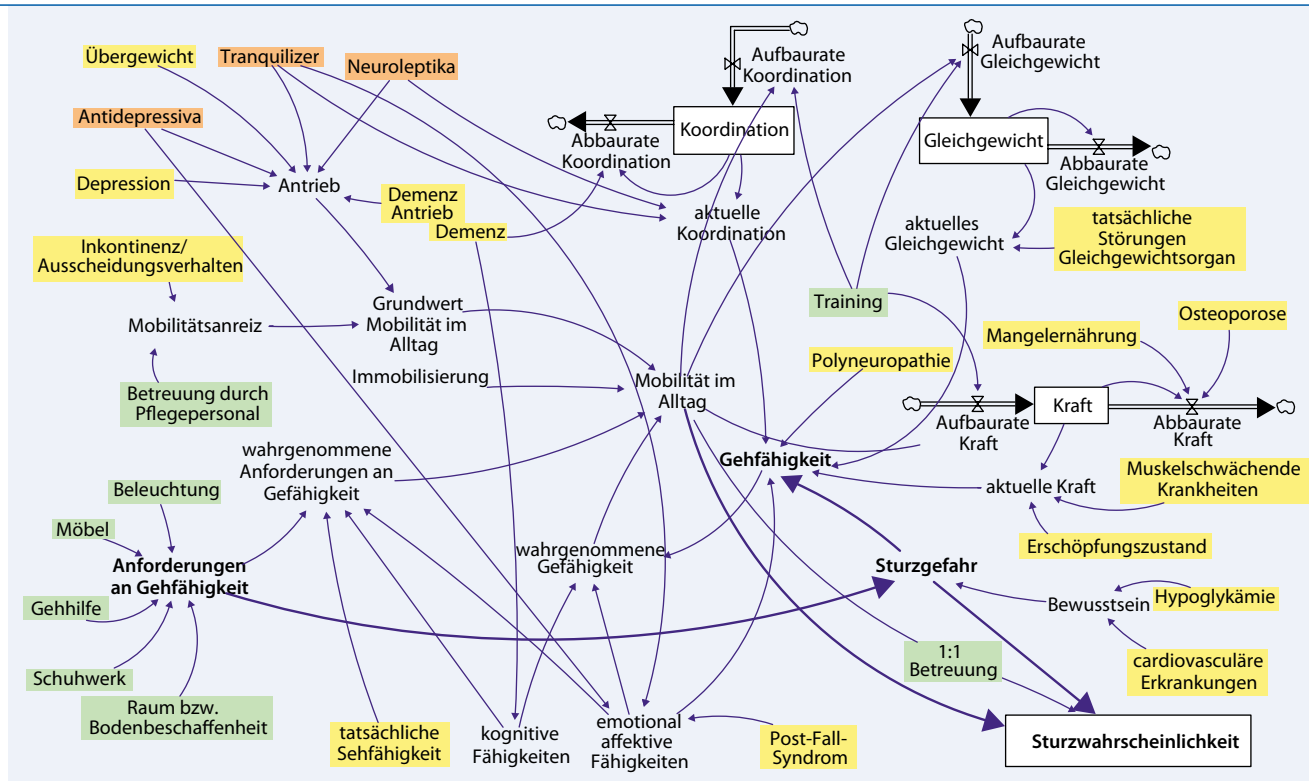
Abb. 3 ► Gehfähigkeit als Zusammenspiel von Kraft, Koordination und Gleichgewicht

einflusst werden können, wird die Gehfähigkeit durch intrinsische Faktoren bestimmt. Die Gehfähigkeit setzt sich vereinfacht betrachtet zusammen aus Kraft, Koordination und Gleichgewicht. Bereits an diesem Punkt der systemischen Analyse zeigt sich die Komplexität der Sturzdynamik, die das Gesamtverhalten so schwer

überschaubar macht: Die Mobilität im Alltag stellt einerseits (s. oben) einen entscheidenden Risikofaktor im Sturzgeschehen dar, andererseits ist sie Trainingsfaktor für Gehfähigkeit und reduziert damit das Sturzrisiko (■ Abb. 2).

### Speichergrößen

Ausgehend von der Fragestellung, effiziente Maßnahmen der Sturzprophylaxe zu identifizieren, sind Mechanismen von speziellem Interesse, die die Sturzwahrscheinlichkeit reduzieren und die aktiv beeinflusst werden können. Da die Stei-



**Abb. 4** ▲ Das deterministische Sturzmodell: gelb schraffiert Krankheiten oder medizinische Zustände, rosa schraffiert Medikamente, grün schraffiert extrinsische Faktoren, unregelmäßige Kreisform Systemgrenze

gerung der Gehfähigkeit dazu gehört, wurde im nächsten Schritt untersucht, wie die Steuergrößen Kraft, Koordination und Gleichgewicht zustande kommen. Entscheidend war dabei die Erkenntnis, dass diese Größen nicht spontan eingestellt werden können, sondern jeweils das Resultat einer Entwicklung sind, die der Patient durchgemacht hat. In der systemdynamischen Betrachtung bedeutet dies, dass es sich um sog. Speichergrößen handelt. Speichergrößen verhalten sich so wie der Wasserstand in einer Badewanne, der das Integral der Zu- und Abflüsse über die vorangegangene Zeit darstellt. Genauso werden Kraft, Koordination und Gleichgewicht kontinuierlich über alltägliche Bewegung aufgebaut. Spezielle Trainingsprogramme stellen einen besonders intensiven Aufbau dar. Gleichzeitig – und das wird oft vergessen – sind diese Größen einem kontinuierlichem Abbau unterworfen. Der Speicher hat sozusagen ein „Leck“. Ein konstanter Pegel wird dann erzielt, wenn Aufbau und Abbau sich die Waage halten. Mathematisch formuliert am Beispiel der Kraft stellt sich die Berechnung wie folgt dar:

$$\text{Kraft}_i = \text{Anfangswert} + \sum_{j=0}^i (\text{AufbauraterKraft}_j - \text{AbbauraterKraft}_j)$$

Mit:

$\text{AbbauraterKraft}_i = \text{Kraft}_{i-1} \times a \times (1+b)$ ,  
 $\text{AufbauraterKraft}_i = \text{mobile Zeit im Alltag}_i + c \times \text{Trainingszeit}_i$ ,  
 $a = \text{Abbaufaktor}$ ,  
 $b = \text{Faktoren, die von Krankheiten abhängen (Mangelernährung, Osteoporose etc.)}$ ,  
 $c = \text{Trainingsfaktor}$ .

Die Quantifizierung der Kraft (genauso wie Koordination und Gleichgewicht) wurde pragmatisch über Trainingsäquivalente vorgenommen. Die Einheit ist damit die Zeit (h). Dem Umstand, dass gezieltes Training zu größerem Kraftaufbau führt als Alltagsaktivitäten, wird mit einem Trainingsfaktor (c) Rechnung getragen (■ Abb. 3).

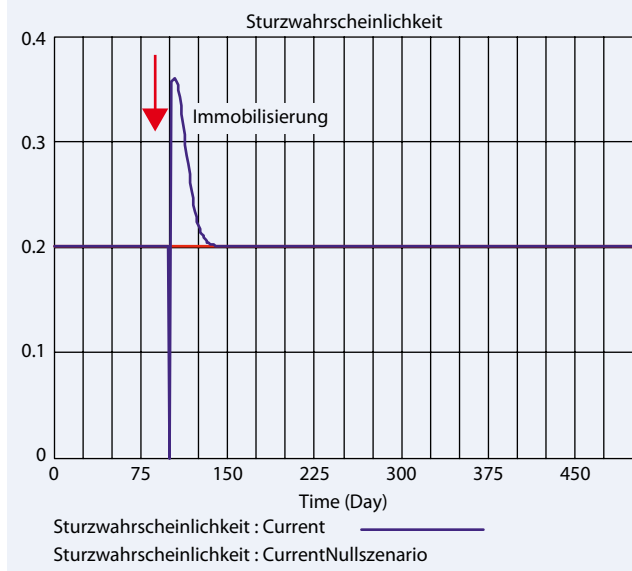
### Weitere Elemente des Modells

Ausgehend von dieser Grundmechanik des Sturzgeschehens wurden die in der Literatur genannten Sturfaktoren mit deren Ursache-Wirkungs-Zusammenhän-

gen ins Modell integriert. Teilweise war es notwendig, weitere „Hilfsgrößen“ einzuführen, um die zugrunde liegenden Mechanismen zu erfassen. Solche Hilfsgrößen sind die Größen „wahrgenommene Anforderungen an die Gehfähigkeit“ und „wahrgenommene Gehfähigkeit“, die von mentalen Fähigkeiten aber auch von physiologischen Voraussetzungen (wie beispielsweise der Sehfähigkeit) abhängen (■ Abb. 4). Mithilfe dieser Größen kann das Modell abbilden, warum Personen beispielsweise versuchen aufzustehen, die objektiv betrachtet dazu nicht in der Lage sind: Sie schätzen ihre Gehfähigkeit falsch ein.

Die Verknüpfung von Risikofaktoren und Sturzwahrscheinlichkeit über Wirkungsketten berücksichtigt auch unterschiedliche Einflussmöglichkeiten ein und desselben Sturfaktors: So wirkt sich die Demenz einerseits darauf aus, wie viel der Patient sich im Alltag bewegt. Demente Personen trainieren damit ihre Gehfähigkeit. Andererseits wirkt sich die Demenz negativ auf die kognitiven Fähigkeiten aus, was dazu führt, dass die eigenen Fähigkeiten nicht mehr korrekt eingeschätzt





**Abb. 5** ◀ Dynamische Simulation der Sturzwahrscheinlichkeit nach einer Immobilisierung (roter Pfeil 100. Tag)

werden, was das Sturzrisiko deutlich erhöht. Außerdem kann der Abbau der Koordination durch eine Demenz erhöht werden. Je nach Phase der Demenz dominieren unterschiedliche Mechanismen. Damit kann der Einfluss der Demenz auf die Sturzwahrscheinlichkeit über den Verlauf der Zeit stark variieren.

Beim Aufbau des Modells sind an verschiedenen Stellen typische Merkmale komplexer Systeme zu Tage getreten z. B.:

- Verzögerungen zwischen Ursache und Auswirkung (Aufbau der Größen Kraft, Koordination, Gleichgewicht),
- Rückkopplungen (Gehfähigkeit ist Basis für Mobilität im Alltag, Mobilität im Alltag führt zu höherer Gehfähigkeit) oder
- Nicht-Linearitäten (z. B. kardiovaskuläre Erkrankungen, die spontan zum Verlust des Bewusstseins führen können).

## Quantifizierung

Mangels empirischer Daten konnten nur relative Abschätzungen innerhalb des Modells vorgenommen werden, ohne einen direkten Bezug zu externen empirischen Größen. Krankheiten wurden beispielsweise mit einem Wert zwischen 0 (Krankheit nicht vorhanden) und 1 (maximale Ausprägung der Krankheit) in Bezug auf ihre Auswirkungen im Sturzgeschehen quantifiziert. So wurde beispielsweise die Abbaurrate „Kraft“ wie nachfolgend dargestellt abgeschätzt. Grundlage für die

se Abschätzung bilden Erfahrungen mit ganz oder teilweise immobilisierten Patienten (Koma, Beinbruch etc.), bei denen der Abbau der Muskelmasse visuell beobachtet werden kann.

$$\begin{aligned} \text{AbbaurrateKraft} &= \text{Kraft} \cdot 0,1 \\ &\cdot (1 + \text{Mangelernährung}) \\ &\cdot (1 + \text{Osteoporose}) \end{aligned}$$

Mit:

Kraft = aktuelle Bestandesgröße [h Trainingsäquivalent].

0,1 = eine „natürliche“ Abbaurrate von 10% pro Zeiteinheit, führt zu einer Abnahme.

Mangelernährung und Osteoporose erhöhen den Abbau, maximal jeweils Verdopplung (Annahme!).

Die Quantifizierung des Modells beruht damit bis anhin nur auf groben Abschätzungen. Trotzdem ist das Modell bereits in der Lage, die Entwicklung der Sturzwahrscheinlichkeit infolge Veränderung einzelner intrinsischer oder extrinsischer Faktoren richtungssicher abzubilden. Für die Weiterentwicklung des Modells besteht eine wesentliche Aufgabe darin, diese Quantifizierung im Detail voranzutreiben.

## Simulation

Bei systemdynamischen Modellen kann – im Gegensatz zu statischen Modellen, die einen stabilen Gleichgewichtszustand ermitteln – der zeitliche Verlauf der Entwicklung kontinuierlich simuliert werden. Dies ist v. a. dann interessant, wenn kritische Konstellationen nur einen Über-

gangszustand darstellen. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Immobilisierung älterer Patienten, die im Modell simuliert wurde. **Abb. 5** stellt das Ergebnis dieser Simulation dar: Im Falle einer Immobilisierung bei älteren Patienten im Pflegeheim gingen wir von einer angenommenen Sturzwahrscheinlichkeit von 0,2 (oder 20%) aus, wobei diese Größe einzig der quantitativen Berechnung dient und ihr zunächst keine klinische Bedeutung beizumessen ist. Am 100. Tag (**Abb. 5**) der Simulation ist der Patient während 3 Tagen immobilisiert. Von der angenommenen Ausgangssturzwahrscheinlichkeit von 0,2 (oder 20%) reduziert sich die Sturzwahrscheinlichkeit während der Zeit der Immobilisierung auf 0. Nach der erneuten Mobilisierung sagt das Modell eine gesteigerte Sturzwahrscheinlichkeit von etwa 0,36 (oder 36%) voraus. Im Laufe der folgenden 3 Wochen senkt sich die Sturzwahrscheinlichkeit durch Training und Mobilität im Alltag wieder auf das Ausgangsniveau.

Die erhöhte Sturzwahrscheinlichkeit unmittelbar nach der Immobilisierung ergibt sich dadurch, dass während der Immobilisierung die Mobilität im Alltag und das Training ausbleibt, was zur Folge hat, dass die Gehfähigkeit sinkt und sich das Sturzrisiko erhöht.

Analog zu diesem Beispiel der Immobilisierung wurden auch andere Zustände wie etwa Bettlägerigkeit, die Auswirkungen von Medikamenten oder die Eins-zu-eins-Betreuung durch Pflegenden simuliert und die Ergebnisse durch die klinische Erfahrung von Fachpersonen validiert. Die Darstellung dieser Simulationen liegt außerhalb des Bereichs dieser Publikation.

## Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war, ein systemdynamisches Modell der Sturzentstehung und -prophylaxe zu entwickeln, das die komplexen Wechselwirkungen zwischen bekannten Risikofaktoren berücksichtigt. Bei der Modellierung wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass Ursache-Wirkungs-Ketten der Sturzdynamik rückgekoppelt sind, und dass Verzögerungen zu einem fragilen Gleichgewicht im System führen. Somit versucht dieser

Ansatz die bisherigen Modelle zur Sturzentstehung und -prophylaxe zu ergänzen oder darüber hinaus zu gehen.

Die Auswahl der dem Modell zugrundeliegenden Population erfolgte einerseits auf praktischen Erwägungen (die Zusammenarbeit mit der örtlichen Spezialklinik für Geriatrie) und andererseits aus dem Umstand heraus, dass Stürze in der Alters- und Pflegeheimpopulation häufig vorkommen und damit ein besonderer Bedarf für neue Lösungsansätze ausgewiesen ist. Ergänzend muss man dazu sagen, dass die Wahl der Alters- und Pflegeheimpopulation besondere Herausforderungen an das Modell stellt, denn es handelt sich um eine heterogene Patientengruppe mit teilweise multiplen Erkrankungen und/oder Einschränkungen.

Eine besondere Herausforderung der Modellentwicklung war eine überschaubare Anzahl aus den vielen möglichen Sturzrisikofaktoren auszuwählen. Die getroffene Auswahl erfolgte einerseits in intensiver Zusammenarbeit mit den Praxisexperten und entspricht im Wesentlichen den in der Literaturübersicht dargestellten Faktoren. Der Einfachheit halber haben wir in dieser Studie nur die hauptsächlichsten Psychopharmaka (Neuroleptika, Antidepressiva und Tranquillizer) berücksichtigt und die vielfältigen somatischen Krankheiten vernachlässigt. Bei der Weiterentwicklung müssten die fehlenden Elemente selbstverständlich berücksichtigt werden.

Mit der theoriegestützten Festlegung der drei Speichergrößen Koordination, Gleichgewicht und Kraft wurden Sturzrisikofaktoren stark gewichtet, die im praktischen Pflegealltag gut beeinflusst werden können, denn diese Faktoren erhalten die Mobilität und sind auch im Alter noch trainierbar [4]. Fiatarone et al. [6, 7] haben gezeigt, dass der Kraftzuwachs bei einem gezielten Krafttraining bei älteren Personen bis zu 174% betragen kann. Ferner kann ein gezieltes Gleichgewichtstraining zu einer positiven Beeinflussung des Gleichgewichts führen [11]. Da schätzungsweise rund 50% des Kraftverlusts nichts mit dem Alter zu tun hat, sondern schlicht auf die oft jahrelange körperliche Inaktivität zurückzuführen ist, scheint ein Training zur „Auffüllung“ der Speicher

sehr lohnenswert und gleichzeitig praktikabel zu sein [5].

Aufgrund der Modellierung wurde beispielhaft das Dilemma der Immobilisierung (die Immobilisierung reduziert vorübergehend die Sturzgefahr aber auch die Mobilität im Alltag auf Null, was ihrerseits zu einem verzögerten Anstieg der Sturzgefahr führt) simuliert. Das Ergebnis dieser Simulation zeigt, dass das Modell „richtungssicher“ reagiert (d. h. im Falle eines erfahrungsgemäß positiven Einflusses auf die Sturzwahrscheinlichkeit reagierte das Modell positiv und vice versa), wenn auch noch – so unser Eindruck – „übertrieben“.

Diese „Überreaktion“ hängt wahrscheinlich mit dem Umstand zusammen, dass über die Beziehungen zwischen den einzelnen Wirkungsfaktoren wenig bis nichts bekannt ist. Einschränkung kommt noch hinzu, dass die Modellquantifizierung mangels empirischer Daten, das heißt nur aufgrund von Abschätzungen vorgenommen werden konnte. Auf den ersten Blick scheint es, dass auch relative qualitative Abschätzungen ausreichen, um komplexe Zusammenhänge im Sturzgeschehen richtungssicher abzubilden.

Die Einschränkungen dieser Studie liegen auf der Hand und wurden teilweise schon angedeutet. Zum einen können wir beim derzeitigen Entwicklungsstand des Modells – trotz aller praktischen und theoriegeleiteten Überlegungen – nicht sicher sein, dass die richtigen Elemente ins Modell aufgenommen wurden. Zum anderen gibt es wenig gesicherte Erkenntnisse über Wirkstärken zwischen den Modellelementen. Dies bedeutet, dass die qualitativen Abschätzungen nur approximativ beziffert werden konnten.

Diese Einschränkungen weisen auf einen großen Entwicklungsbedarf für die weitere Entwicklung des Modells hin. In erster Linie wäre eine weitere Plausibilitätsprüfung aufgrund einer hinreichend großen Anzahl von Einzelfallstudien aus der Praxis erforderlich. Beispielsweise könnten Daten über Stürze und deren Folgen retrospektiv rekonstruiert und in das Modell eingebunden werden, um das Simulationsverhalten zu verfeinern. Verhält sich das Modell wirklichkeitsgetreu, so könnten in einem weiteren

Schritt empirische Studien unter der Beteiligung von Experten verschiedener Disziplinen – etwa Medizin, Physiotherapie, Bewegungswissenschaft, Pflegewissenschaft und Experten für Modellbildung und Computersimulation – zur Untersuchung und Quantifizierung von Wirkzusammenhängen zwischen einzelnen Sturzrisikofaktoren erfolgen. Im Endausbau soll die Modellierung der Sturzdynamik und -prophylaxe Aussagen über typische Gruppen in einer Population (etwa bei Patienten mit einer Immobilisierung oder bei agitierten Patienten mit Demenz) mit Blick auf ein Sturzrisiko erlauben. Erweist sich das Modell auf dieser Ebene als nützlich, könnten möglicherweise Aussagen zu einzelnen Individuen aus der Population gewagt werden.

## Schlussfolgerungen

Es konnte mit Hilfe der Systemdynamik ein deterministisches systemdynamisches Modell der Sturzdynamik und -prophylaxe für eine Pflegeheimpopulation unter Einbeziehung bekannter Sturzrisikofaktoren entwickeln werden, das von Praktikern als plausibel beurteilt wird und das „richtungssicher“ reagiert.

## Fazit für die Praxis

**Diese Studie zeigt die derzeitigen Lücken in der Sturzprognose und in der praktischen Anwendung der Sturzprophylaxe. Die Betrachtung von Stürzen aus der Sicht der Systemdynamik könnte ein lohnenswerter Ansatz zum Vorantreiben der Sturzforschung und eine wertvolle Ergänzung des bisherigen Wissenstandes zum Thema sein. Selbst wenn die praktischen Konsequenzen dieser Studie bescheiden sind, könnte diese Arbeit zur Sensibilisierung von Forscher und Praktiker gleichermaßen beitragen.**

## Korrespondenzadresse

A. Zeller MNSc



Fachbereich Gesundheit,  
Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften,  
Fachhochschule,  
Tellstraße 2, CH-9001 St. Gallen  
Schweiz  
heidi.zeller@fhsg.ch

**Danksagung.** Wir danken der FHS St. Gallen, Hochschule für Angewandte Wissenschaften für die finanzielle Unterstützung dieser Studie.

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenskonflikt besteht.

### Literatur

1. Becker C, Conz A, Can H et al (1999) Epidemiologie von proximalen Femurfrakturen Älterer. *Geriatric Research* 9: 127–130
2. Beer V, Minder C, Hubacher M et al (2000) Report 42: Epidemiologie der Seniorenunfälle. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (BfU), Bern
3. Campbell AJ, Borrie MJ, Spears GF (1989) Risk factors for falls in a community-based prospective study of people 70 years and older. *J Gerontol* 44: 112–117
4. Denk H, Pache D, Schaller H (2003) Handbuch Altersport. Hofmann, Schorndorf
5. Ehram R, Zahner L, Hug M et al (1995) Krafttraining mit Seniorinnen und Senioren. *Z Eidgenössische Sportschule Magglingen* 7: 8–12
6. Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND et al (1990) High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA* 263: 3029–3034
7. Fiatarone MA, O'Neill EF, Ryan ND et al (1994) Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med* 330: 1769–1775
8. Guillet L, Métral G, Spini D (2003) SwilsO-O. Une étude longitudinale sur le grand âge. *J Méd Hyg* 61: 2247–2250
9. Höpfinger F, Stuckelberger A (1999) Alter, Hauptergebnisse und Folgerungen aus dem Nationalen Forschungsprogramm NFP32. NFP32, Bern
10. Hubacher M, Ewert U (1997) Das Unfallgeschehen bei Senioren ab 65. BfU-Report. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung. BfU, Bern
11. Islam MM, Nasu E, Rogers EM et al (2004) Effects of combined sensory and muscular training on balance in Japanese older adults. *J Prev Med* 39: 1148–1155
12. Kohli R, Bläuer Herrmann A, Babel J (2006) Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Bundesamt für Statistik, BFS, Neuchâtel
13. Leipzig RM, Cumming RG, Tinetti ME (1999) Drugs and falls in older people: a systematic review and meta-analysis: I. Psychotropic drugs. *J Am Geriatr Soc* 47: 30–39
14. Leipzig RM, Cumming RG, Tinetti ME (1999) Drugs and falls in older people: a systematic review and meta-analysis: II. Cardiac and analgesic drugs. *J Am Geriatr Soc* 47: 40–50
15. Lütjohann U (2004) Kritische Auseinandersetzung mit dem Entwurf des Expertenstandards „Sturzprophylaxe“ des „Deutschen Netzwerk für Qualitätsentwicklung in der Pflege“. Fachbereich Soziale Arbeit, Studiengang Pflege Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Hamburg, S 102
16. Milisen K, Staelens N, Schwendimann R et al (2007) Fall prediction in inpatients by bedside nurses using the St. Thomas's risk assessment tool in falling elderly inpatients (STRATIFY) instrument: a multicenter study. *J Am Geriatr Soc* 55: 725–733
17. Moreland J, Richardson J, Chan DH et al (2003) Evidence-based guidelines for the secondary prevention of falls in older adults. *Gerontology* 49: 93–116
18. Northridge ME, Nevitt MC, Kelsey JL (1996) Non-syncopal falls in the elderly in relation to home environments. *Osteoporos Int* 6: 249–255
19. Perell KL, Nelson A, Goldman RL et al (2001) Fall risk assessment measures: an analytic review. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: 761–766
20. Schiemann D, Moers M, Blumenberg P et al (2006) Expertenstandard Sturzprophylaxe in der Pflege: Entwicklung, Konsentierung, Implementierung. Deutsches Netzwerk für Qualitätsentwicklung in der Pflege (DNQP), Osnabrück
21. Schwendimann R, De Geest S, Milisen K (2006) Evaluation of the morse fall scale in hospitalised patients. *Age Ageing* 35: 311–313



**• Kongressnews**  
**• Spannendes aus der Welt der Medizin**  
**• Interviews**  
**Jeden Monat neu!**

Jetzt kostenlos downloaden unter  
[www.springer.de/podcast](http://www.springer.de/podcast)